

# Analisa Kinerja Termal Solar Apparatus Panel pada Alat Destilasi Air Payau dengan Sistem Evaporasi Uap Tenaga Matahari Menggunakan CFD

Nadia Handayani, Taufik Fajar Nugroho, dan Sutopo Purwono Fitri

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: [taufikfajar@its.ac.id](mailto:taufikfajar@its.ac.id), [sutopopf@its.ac.id](mailto:sutopopf@its.ac.id)

**Abstrak**—Upaya penyaluran air bersih ke daerah pesisir belum dilakukan secara merata sehingga masyarakat masih mengonsumsi air payau untuk kehidupan sehari-hari. Meskipun telah banyak dikembangkan alat destilasi air laut menjadi air tawar, namun masih memiliki sistem yang kompleks dan biaya yang mahal, sehingga dikembangkan alat destilasi air menggunakan sistem evaporasi uap dengan sumber tenaga matahari. Untuk mengetahui kinerja termal alat destilasi ini, maka dilakukan penelitian dengan metode simulasi menggunakan pendekatan *computational fluid dynamic* (CFD) menggunakan software GAMBIT 2.4.6 dalam tahap pembuatan domain yang selanjutnya disimulasikan menggunakan software ANSYS FLUENT 13. Simulasi dilakukan pada solar apparatus panel secara *three dimensional* (3D) menggunakan model turbulensi *Realizable k-ε*, *solar load model* dan model radiasi *Rosseland*. Selanjutnya, simulasi dilakukan dengan variasi kecepatan masuk aliran air ke dalam pipa yaitu 0.01 m/s, 0.02 m/s, 0.03 m/s dan 0.04 m/s. Dari hasil pemodelan dan analisa diketahui bahwa distribusi temperatur terbesar terdapat pada pipa. Energi maksimum yang dapat diterima oleh air adalah 369.591 W/m<sup>2</sup> pada pukul 10.00 dengan kecepatan 0.04 m/s. Nilai heat losses yang terjadi pada masing-masing kecepatan berbanding terbalik dengan nilai efisiensi yang menurun setiap jam, rata-rata efisiensi terjadi pada sore hari mulai dari pukul 11.00 – 13.00. Nilai efisiensi rata-rata pada kecepatan 0.01 m/s yaitu 27.6%. Pada kecepatan 0.02 yaitu 30.2%. Pada kecepatan 0.03 yaitu 31.6% sedangkan pada kecepatan 0.04 yaitu 33.4%.

**Kata Kunci**—destilasi, distribusi temperatur, efisiensi, heat losses

## I. PENDAHULUAN

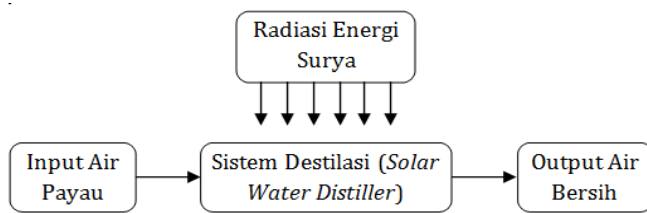
MENURUT data dari Biro Sensus Departemen Perdagangan Amerika Serikat, jumlah penduduk Indonesia mencapai 3,5% jumlah penduduk dunia yakni 253.609.643 jiwa dengan luas wilayah 5.180.053 km<sup>2</sup>. Jumlah ini menjadikan Indonesia sebagai Negara keempat dengan jumlah penduduk terbanyak di dunia [1]. Laju pertumbuhan penduduk menyebabkan kebutuhan akan air bersih semakin meningkat. Meskipun Indonesia merupakan Negara Maritim yang 70% atau 3.257.483 km<sup>2</sup> luas wilayahnya adalah perairan, namun perubahan kondisi alam/lingkungan dan

eksploitasi daratan yang besar menyebabkan banyak daerah pesisir di Indonesia yang air tanahnya telah terinfiltrasi oleh air laut sehingga perlu pengolahan yang lebih lanjut untuk dapat memanfaatkan air tanah tersebut. Berbagai teknik pengolahan air asin/payau telah dilakukan antara lain: *reverse osmosis* (RO), elektrodialisis, destilasi *transfer membrane*, *ion exchange*, dan penguapan/evaporasi. Akan tetapi teknik pengolahan air payau tersebut dari segi ekonomis masih terlalu mahal. Maka diperlukan adanya alternatif metoda pengolahan air payau yang memiliki efisiensi pengolahan yang tinggi dan biaya yang relatif terjangkau. Salah satu pengolahan yang relatif murah yaitu dengan cara penguapan menggunakan sinar matahari sebagai sumber energinya (desalinasi surya). Sebelumnya telah dirancang sebuah alat destilasi air payau dengan sistem evaporasi uap tenaga surya yang menggunakan energi matahari untuk proses pemanasan air [2]. Untuk itu dilakukan analisa pemodelan sistem *thermal solar apparatus panel* dan mensimulasi fenomena fisis yang terjadi menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) sehingga mengetahui distribusi panas dan kerugian panas akibat adanya radiasi, konduksi dan konveksi yang terjadi dalam *solar apparatus panel* serta pengaruhnya terhadap fase perubahan air payau, pemodelan dan simulasi dilakukan dapat dijadikan dasar untuk mendapatkan hasil desain yang optimal.

## II. DASAR TEORI

### A. Alat destilasi air

Adanya kontaminasi pada air tanah mendorong masyarakat mengembangkan beberapa metode untuk menghasilkan air bersih baik dengan menggunakan penyaringan bertahap maupun menggunakan penyulingan (distilasi). Distilasi atau penyulingan adalah suatu metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan kecepatan atau kemudahan menguap (*volatilitas*) bahan. Alat distilasi air menggunakan konsep perbedaan titik didih atau titik cair dari zat kimia penyusun air tersebut. Pada sistem ini terjadi 2 proses yaitu proses penguapan (*evaporation*) dan dilanjutkan dengan proses



Gambar. 1. Proses Kerja Sistem Destilasi Tenaga Surya [3]

pengembunan (*condensation*) kembali dari uap yang dihasilkan menjadi cairan. Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu. Berbagai macam teknik destilasi air telah dikembangkan, antara lain *reverse osmosis* (RO), elektrodialisis, destilasi *transfer membrane*, *ion exchange*, dan penguapan/evaporasi. Namun alat destilasi yang akan diteliti adalah yang menggunakan teknik evaporasi.

### B. Energi Matahari

Radiasi energi surya berupa gelombang elektromagnetik, yang berasal dari proses fusi nuklir yang mengubah hidrogen menjadi helium. Permukaan surya bersuhu 6000K, sedangkan bagian dalamnya bersuhu jutaan derajat kelvin. Radiasi yang dipancarkan berupa gelombang elektromagnetik sebesar 75.3 juta watt/ m<sup>2</sup>.

Jarak rata-rata dari surya ke bumi adalah 150 juta km, radiasi yang mencapai puncak atmosfer 1360W/m<sup>2</sup>. Karena adanya hambatan dari awan dan atmosfer bumi maka hanya 50% energi yang sampai ke permukaan bumi, kemudian 30%nya dipantulkan kembali ke angkasa. Hambatan tersebut merupakan konsentrasi aerosol dan konsentrasi gas di atmosfer, termasuk kandungan CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> dan O<sub>3</sub> [3].

Intensitas radiasi yang mengenai permukaan meliputi :

#### a. Total radiasi matahari

Total radiasi yang mencapai permukaan adalah penjumlahan radiasi langsung (*direct radiation*) dan radiasi hambur (*diffuse radiation*).

$$I_{\theta} = I_{DN} \cos \theta + I_d \theta + I_r \theta. \quad (1)$$

#### b. Radiasi langsung

Radiasi langsung adalah radiasi yang mencapai bumi tanpa perubahan arah atau radiasi yang diterima oleh bumi dalam arah sejajar sinar datang.

$$I_{DN} = E_0 \exp \left( -\frac{B}{\sin \beta} \right) \quad (2)$$

#### c. Radiasi hambur

Radiasi hambur adalah radiasi yang mengalami perubahan akibat penghamburan. Radiasi sebaran yang disebut juga radiasi langit (*sky radiation*), adalah radiasi yang dipancarkan ke permukaan penerima oleh atmosfer, dan karena itu berasal dari seluruh bagian hemisfer langit. Radiasi sebaran (langit) didistribusikan merata pada hemisfer (disebut distribusi isotropik).

$$I_d = C \cdot I_{DN} \cdot F_{WS} \quad (3)$$

#### d. Radiasi pemantulan

Selain komponen radiasi langsung dan sebaran, permukaan penerima juga mendapatkan radiasi yang

dipantulkan dari permukaan yang berdekatan, jumlah radiasi yang dipantulkan tergantung dari reflektansi  $\alpha$  (albedo) dari permukaan yang berdekatan itu, dan kemiringan permukaan yang menerima. Radiasi yang dipantulkan per jam, juga disebut radiasi pantulan.

$$I_r = (I_{DN} + I_d) \rho_g F_{WG} \quad (4)$$

### C. Tinjauan Termal Solar Apparatus Panel

Pada proses perpindahan panas di solar apparatus panel meliputi:

#### a. Konduksi

Konduksi adalah proses pengangkutan kalor melalui satu jenis zat (bahan). Arah aliran energi kalor, adalah dari titik bersuhu tinggi ke titik bersuhu rendah. Konduksi terjadi di kaca dan pipa dalam panel. Persamaan umum yang biasa digunakan dalam perpindahan panas dengan cara konduksi adalah:

$$Q_{kond} = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (5)$$

dimana,  $Q_{kond}$  adalah aliran panas konduksi (W),  $k$  adalah konstanta konduktivitas termal untuk matras (W/m.K),  $A$  adalah luas permukaan konduktif yang dilalui aliran panas (m<sup>2</sup>), dan  $dT/dx$  adalah gradien temperatur terhadap jarak kontak. [1]

#### b. Konveksi

Konveksi ialah pengangkutan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses perpindahan kalor secara aliran/konveksi merupakan satu fenomena permukaan. Proses konveksi hanya terjadi di permukaan bahan. Konveksi pada panel dapat terjadi karena pengaruh angin di atas permukaan kaca, udara di dalam panel dan air di dalam pipa. Persamaan untuk perpindahan panas dengan cara konveksi adalah :

$$Q_{konv} = h A \Delta T \quad (6)$$

dengan  $Q_{konv}$  adalah aliran panas konveksi (W),  $h$  adalah konstanta konveksi termal (W/m<sup>2</sup>K),  $A$  adalah luas permukaan konveksi yang dilalui aliran panas (m<sup>2</sup>), dan  $\Delta T$  adalah perbedaan temperatur (K).

#### c. Radiasi

Yang dimaksud dengan pancaran (radiasi) ialah perpindahan kalor melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain. Semua benda memancarkan kalor.

$$Q_{rad} = e \sigma T^4 \quad (7)$$

dengan  $Q_{rad}$  adalah aliran panas radiasi (W),  $e$  adalah koefisien tefan-Boltzman ( $5,67 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>), dan  $T^4$  adalah temperatur (K).

### D. Computational Fluid Dynamic (CFD)

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah suatu teknik analisa dari suatu sistem meliputi aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terlibat di dalamnya, seperti reaksi kimia dengan bantuan komputer berdasarkan simulasi.

## III. METODOLOGI

Proses penelitian ini menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Model turbulensi yang

digunakan adalah persamaan *Reynold-Average* Navier-Stokes (RANS). Model turbulensi RANS k-epsilon Realizable model.

### A. Desain dan Geometri Solar Apparatus Panel

Desain dan geometri solar apparatus panel yang menjadi rujukan dalam penelitian ini adalah solar apparatus panel skala laboratorium yang juga dirancang oleh mahasiswa [2]. Desain solar apparatus panel ini dimodelkan dengan geometri 3D yang telah disederhanakan menggunakan perangkat lunak GAMBIT 2.4.6. Ukuran utama panel pada pemodelan ini adalah lebar (x) sebesar 550 satuan, tinggi (y) sebesar 50 satuan, dan panjang (z) bagian depan 325 satuan dan bagian belakang 325 satuan.

### B. Diskritisasi Geometri Solar Apparatus Panel

Langkah selanjutnya setelah pemodelan geometri solar apparatus panel adalah melakukan diskritisasi volume. Pada diskritisasi ini digunakan tipe *mesh tetrahedral-hibrid*. Pada solar apparatus panel terdapat pipa di dalamnya sehingga dilakukan pemisahan (*split*) volume yang masih terkoneksi. Metode diskritisasi ini dilakukan untuk menghasilkan hasil simulasi yang lebih baik karena analisis ditekankan pada daerah dekat permukaan kaca dan pipa.

Hasil diskritisasi pada model solar apparatus panel ini menghasilkan 1.127.665 elemen.

### C. Properties Material

Pada simulasi solar apparatus panel, setiap bagian memiliki definisi, termasuk material dan fluida yang ada di dalamnya. Pendefinisian properties ini bertujuan untuk melibatkan setiap material dan fluida terhadap perpindahan panas pada solar apparatus panel.

#### 1. Properties fluida dalam panel

##### a. Domain udara dalam panel apparatus

Kondisi udara di dalam panel apparatus pada temperatur 27 °C adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Thermal Properties Udara

Properties	Nilai	Satuan
Densitas	1,025	Kg/m <sup>3</sup>
Kalor spesifik (Cp)	1006,43	J/kgK
Konduktivitas termal	0,0242	W/mK
Viskositas	$1,7 \times 10^{-5}$	Kg/ms
Koefisien absorpsi	0	1/m
Koefisien penghamburan	0	1/m
Reactive index	1.000308	

##### b. Domain air dalam tube apparatus

Kondisi air dalam tube apparatus adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Thermal Properties Air

Properties	Nilai	Satuan
Densitas	1000	Kg/m <sup>3</sup>
Kalor spesifik (Cp)	4182	J/kgK
Konduktivitas termal	0,6	W/mK
Viskositas	$1,003 \times 10^{-3}$	Kg/ms
Koefisien absorpsi	6.91	1/m
Koefisien penghamburan	0.03	1/m
Reactive index	1.396	

### 2. Properties material panel

Pada penelitian eksperimental [3], alat distilasi dengan sistem evaporasi uap tenaga matahari ini memiliki desain sebagai berikut:

Tabel 3. Thermal Properties Material

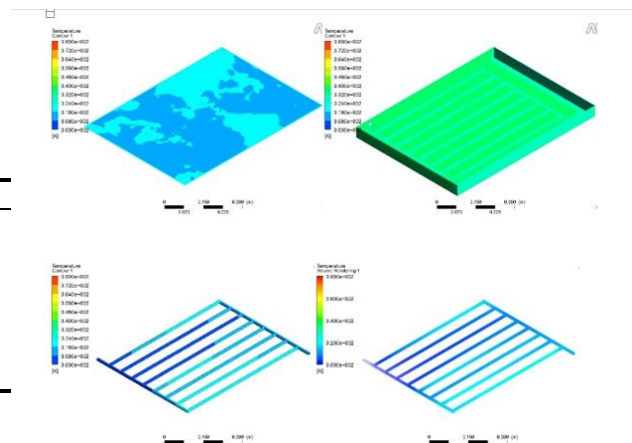
Material	Density ( kg/m <sup>3</sup> )	Specific Heat (Cp) ( J/kg.K )	Thermal Conductivity ( W/m.K )
Glass	2310	841	1.15
Copper	8978	381	387.6
Wood	700	2310	0.173

## III. DATA HASIL SIMULASI

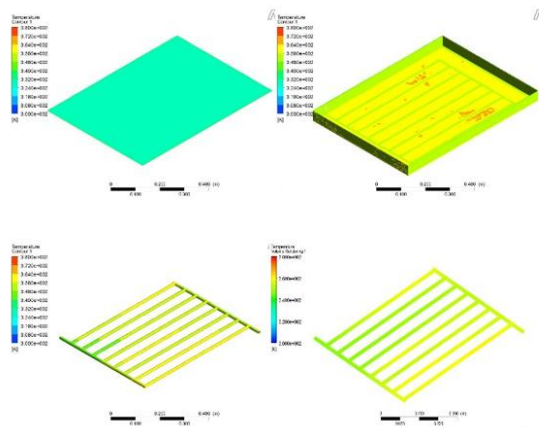
### A. Hasil Simulasi

Setelah dilakukan simulasi pada berbagai variasi kecepatan, maka didapatkan keluaran data temperatur masing-masing material dari CFD-Post. Untuk kecepatan 0.02 m/s didapatkan kontur distribusi temperatur dengan batas minimum 300 K dan maksimum 380 K sebagai berikut:

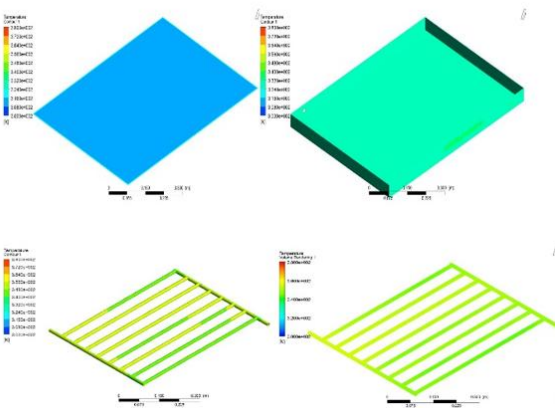
Intensitas radiasi matahari masuk ke panel melalui kaca, dan panas diakumulasikan di dalam panel karena panel disimulasikan kedap. Sehingga temperatur panel lebih panas daripada temperatur kaca sedangkan pipa menerima panas di dalam panel dan diteruskan ke air yang mengalir 0.02 m/s di dalamnya. Pada Gambar 3 pukul 12.00 intensitas matahari maksimum 979,14 W/m<sup>2</sup>, temperatur setiap materialnya meningkat, sedangkan temperatur maksimum ada pada pipa. Sedangkan pada pukul 16.00 mengalami penurunan karena intensitas matahari pada sore hari menurun menjadi 592,57 W/m<sup>2</sup>.



Gambar 2. Kontur distribusi temperatur  $v = 0.02$  m/s pada pukul 08.00 (a) Kaca (b) Panel (c) Pipa (d) Air dalam pipa



Gambar 3 Kontur distribusi temperatur  $v = 0.02$  m/s pada pukul 12.00 (a) Kaca (b) Panel (c) Pipa (d) Air dalam pipa



Gambar 4. Kontur distribusi temperatur  $v = 0.02$  m/s pada pukul 17.00 (a) Kaca (b) Panel (c) Pipa (d) Air dalam pipa

### B. Data Heat Losses Sistem

Untuk menghitung losses dari luar kaca hingga menuju air dalam pipa, maka perlu diketahui beberapa variabel perhitungan yaitu : perbedaan suhu dan besarnya koefisien perpindahan panas menyeluruh yang sering disebut dengan  $U_{total}$ . Besarnya koefisien perpindahan panas menyeluruh adalah sebagai berikut :

$$\frac{1}{U_{total}} = \frac{1}{h_{wind} + h_{r-o}} + \frac{1}{h_{k-o}} + \frac{1}{h_{c-k} + h_{r-i}} + \frac{1}{h_{k-p}} + \frac{1}{h_{c-a}} \quad (8)$$

### C. Data Energi Berguna Solar apparatus Panel

Energi berguna yang ada pada solar apparatus panel merupakan energi yang digunakan untuk memanaskan air di dalam pipa apparatus, persamaan energi berguna solar apparatus panel adalah sebagai berikut :

$$Q_U = (I_{t0} \tau \alpha_p - U_{total} (T_w - T_a)) Fr \quad (9)$$

### D. Data Efisiensi Solar Apparatus Panel

Dalam kasus solar apparatus panel ini perbandingan yang dimaksud adalah perbandingan energi yang dihasilkan oleh solar apparatus panel ini dibanding dengan energi yang masuk dalam panel

$$\eta = \frac{Q_U}{Q_{in}} = \left( \tau \alpha - \frac{(T_{in} - T_a) U_{total}}{I_{total}} \right) Fr \quad (10)$$

Dari proses perhitungan didapatkan data sebagai berikut:  
Untuk simulasi dengan kecepatan 0.02 m/s.

Table 4. Data Efisiensi

$1/U_{total}$	$U_{total}$	$Q_U$	$\eta$	$Q_{loss}$
0.59695	1.675	314.593	39.0%	18.276
0.64225	1.557	336.729	37.4%	36.902
0.49818	2.007	328.212	34.6%	68.008
0.45278	2.209	314.506	32.4%	93.797
0.40875	2.447	293.73	30.0%	120.12
0.39253	2.548	276.902	28.5%	135.66
0.37576	2.661	256.368	27.0%	148.02
0.37046	2.699	236.187	26.2%	148.98
0.36735	2.722	202.648	25.1%	143.4
0.37088	2.696	129.795	21.9%	126
Ave. Efficiency =			30.2%	

## V. ANALISA DATA

Berdasarkan keadaan simulasi pada tanggal 21 Juni dilakukan variabel simulasi dengan kecepatan 0.02 m/s dan keadaan lingkungan Surabaya pada kondisi cerah, dengan data temperatur lingkungan dan kecepatan angin. Analisa solar apparatus panel adalah sebagai berikut :

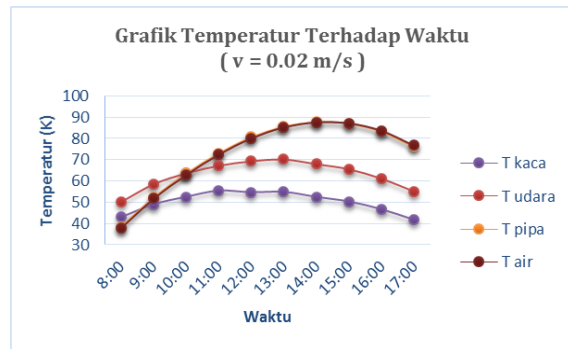
### A. Analisa distribusi temperatur

Dari Grafik 1 diketahui bahwa temperatur solar apparatus panel mengalami kenaikan lalu penurunan selama 10 jam pengoperasian. Secara keseluruhan temperatur kaca lebih rendah dari temperatur udara dalam panel, temperatur pipa dan temperatur air dalam pipa, hal ini disebabkan karena adanya konveksi angin di atas permukaan kaca sehingga heat loss pada permukaan kaca lebih besar dari pada heat loss di dalam panel. Pada kecepatan aliran 0.02 m/s temperatur kaca maksimum yaitu 55.39 °C pada pukul 11.00.

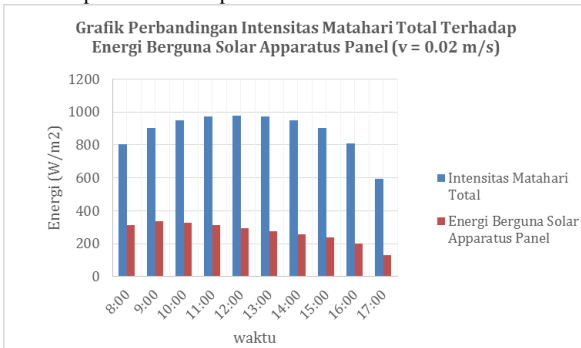
Temperatur pipa lebih tinggi dari temperatur udara dalam panel, karena secara tidak langsung pipa berperan sebagai absorber. Temperatur pipa mulai meningkat lebih tinggi dari temperatur udara pada pukul 10.00, hal ini disebabkan karena ketika udara belum cukup panas pipa telah terpapar oleh radiasi matahari. Sehingga pada pukul 08.00 temperatur udara sebesar 50.15°C dan temperatur pipa 38.51°C, sedangkan pada pukul 10.00 temperatur udara sebesar 63.61°C dan temperatur pipa lebih tinggi yaitu 63.63°C.

Dari grafik juga dapat dilihat bahwa temperatur pipa dan temperatur air di dalamnya tidak terlalu berbeda. Karena aliran air yang begitu lambat dengan kecepatan 0.02 m/s, maka air akan lebih banyak menyerap energi yang disalurkan oleh pipa. Hal ini menyebabkan perbedaan temperatur air dengan pipa yang sedikit. Temperatur maksimum pipa dan air terjadi pada pukul 14.00 yaitu 87.79°C sedangkan air 87.62°C.





Grafik 1. Temperatur Terhadap Waktu



Grafik 2. Grafik Intensitas Matahari Total Terhadap Energi Berguna

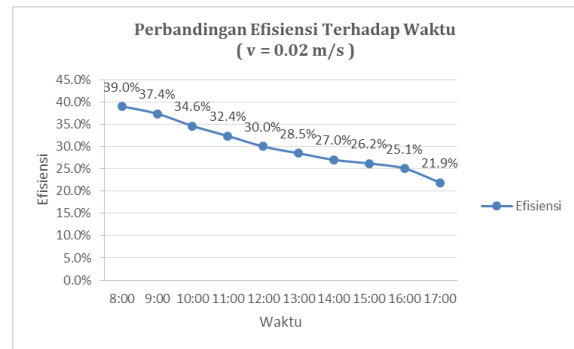
### B. Analisa energi berguna solar apparatus panel

Analisa energi berguna pada solar apparatus panel dilakukan untuk mengetahui pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi panas untuk alat destilasi air payau ini. Maka dari data dan perhitungan hasil simulasi didapatkan grafik sebagai berikut :

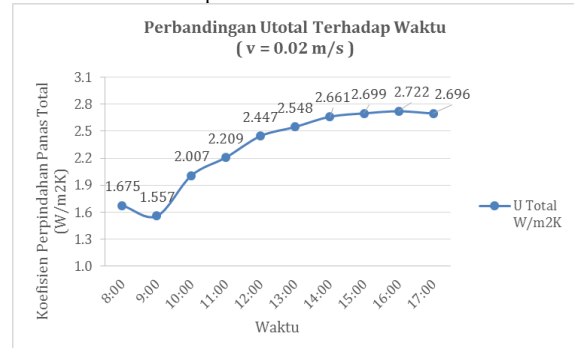
Dari Grafik 2 di atas dapat diketahui bahwa energi berguna pada solar apparatus panel setiap jamnya semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh kenaikan heat losses tiap jamnya, setelah itu juga terjadi penurunan intensitas radiasi matahari total setelah pukul 12.00 yang juga berpengaruh pada berkurangnya energi yang masuk ke dalam panel. Pada satu jam pertama panel mendapat intensitas radiasi matahari hingga sebesar 806.63 W/m<sup>2</sup> panel menyerap energi awal dan temperatur dalam panel meningkat. Energi maksimum yang dapat diterima oleh air yang memiliki kecepatan 0.02 m/s adalah 336.729 W/m<sup>2</sup> pada pukul 09.00. Sedangkan energi berguna minimum yang diterima oleh air adalah 129.795 W/m<sup>2</sup> pada pukul 17.00, hal ini selain disebabkan oleh menurunnya intensitas radiasi matahari total pada pukul 17.00 juga dipengaruhi oleh kecepatan angin dan temperatur lingkungan yang turun.

### C. Analisa efisiensi dan koefisien perpindahan panas menyeluruh

Dari data dan perhitungan hasil simulasi didapatkan nilai efisiensi dan koefisien perpindahan panas total pada solar apparatus panel tiap jamnya. Berikut adalah grafik yang menunjukkan perbandingan efisiensi dan koefisien perpindahan panas total solar apparatus panel dengan kecepatan aliran 0.02 m/s :



Grafik 3. Effisiensi Terhadap Waktu



Grafik 4. Utotol Terhadap Waktu

Dari kedua grafik di atas dapat dilihat bahwa efisiensi dan koefisien perpindahan panas menyeluruh berbanding terbalik. Nilai efisiensi meningkat ketika perbandingan energi berguna pada panel dan intensitas radiasi matahari total semakin besar, sedangkan koefisien perpindahan panas dipengaruhi oleh proses radiasi, konveksi dan konduksi pada panel. Ketika nilai koefisien perpindahan panas kecil maka heat losses juga kecil sehingga efisiensi panel semakin meningkat. Dari hasil simulasi di dapatkan nilai maksimum efisiensi pada kecepatan 0.02 yaitu 39% dengan  $U_{\text{total}}$  1.675 W/m<sup>2</sup>K pada pukul 08.00, sedangkan minimum efisiensi yaitu 21.9% dengan  $U_{\text{total}}$  2.69 W/m<sup>2</sup>K pada pukul 17.00. Rata-rata efisiensi solar apparatus panel adalah 30.2%.

## III. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Temperatur kaca lebih rendah dari temperature udara dalam panel, sedangkan temperatur pipa dan air di dalam pipa lebih tinggi dibanding temperature udara dalam panel. Temperatur maksimum kaca yaitu 57.87°C pada pukul 11.00, temperatur maksimum udara yaitu 73.96°C pada pukul 11.00, temperatur maksimum pipa yaitu 97.51°C pada pukul 13.00 dan temperatur maksimum air yaitu 97.35°C pada pukul 13.00 dengan kecepatan aliran 0.01 m/s
2. Pada masing-masing kecepatan nilai heat losses meningkat setiap jam lalu mengalami penurunan, heat losses maksimum rata-rata terjadi pada sore hari mulai dari pukul 14.00 – 16.00.

3. Pada masing-masing kecepatan nilai efisiensi menurun setiap jam, rata-rata efisiensi terjadi pada sore hari mulai dari pukul 11.00 – 13.00. Nilai efisiensi rata-rata pada kecepatan 0.01 m/s yaitu 27.6%. Pada kecepatan 0.02 yaitu 30.2%. Pada kecepatan 0.03 yaitu 31.6% sedangkan pada kecepatan 0.04 yaitu 33.4%.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis N.H. mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa Bidik Misi tahun 2010-2014

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Purnomo, "Detik Finance - Negara dengan Penduduk Terbanyak di Dunia, RI Masuk 4 Besar," Kamis Maret 2014. [Online]. Available: <http://finance.detik.com/read/2014/03/06/134053/2517461/4/negara-dengan-penduduk-terbanyak-di-dunia-ri-masuk-4-besar>. [Accessed 18 April 2014].
- [2] D. Jumineti, "Analisa Kinerja Alat Destilasi Penghasil Air Tawar dengan Sistem Evaporasi Uap Tenaga Surya," 2014.
- [3] K. Astawa, M. Sucipta and I. P. G. A. Negara, "Analisa Performansi Destilasi Air Laut Tenaga Surya," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. V, 2011.